饲粮铜添加水平对生长獭兔生长性能、毛皮品质、肉品质及氮代谢的影响

隋啸一　刘　磊　高　琴　李福昌*

（山东农业大学动物科技学院学院，泰安 271018）

摘　要：本试验旨在研究饲粮铜添加水平对生长獭兔生长性能、毛皮品质、肉品质及氮代谢的影响。选取 200 只体况相近的 1 月龄健康獭兔，随机分为 5 组（每组 40 个重复，每个重复 1 只），分别饲喂在基础饲粮中添加 0、5、15、45、135 mg/kg 铜的试验饲粮，试验饲粮中铜含量的实测值分别为 8.19、13.59、23.78、54.08、143.68 mg/kg。预试期 7 d，正试期 60 d。结果表明：饲粮铜添加水平对平均日增重、平均日采食量有极显著影响（$P<0.01$），对料重比没有显著影响（$P>0.05$）。当饲粮铜添加水平为 15 mg/kg 时，平均日增重及平均日采食量均达到最高值。饲粮铜添加水平对毛皮重量有显著影响（$P<0.05$），对毛皮面积及毛皮厚度没有显著影响($P>0.05$)。5 mg/kg 的毛皮重量显著高于 45、135 mg/kg 组($P<0.05$)，但与 15 mg/kg 组差异不显（$P>0.05$）。饲粮铜添加水平对肌肉滴水损失有极显著影响（$P<0.01$），对肌肉 $pH_{45\ min}$ 和黄度值有显著影响（$P<0.05$），对肌肉剪切力及亮度、红度值均无显著影响（$P>0.05$）。当饲粮铜添加水平为 15 mg/kg 时滴水损失有最小值，$pH_{45\ min}$ 有最大值。饲粮铜添加水平对食入氮、尿氮、沉积氮、氮利用率及氮生物利用率有极显著影响（$P<0.01$），对粪氮、氮表观消化率有显著影响（$P<0.05$）。综合本试验测定指标，生长獭兔饲粮适宜的铜添加水平为 15 mg/kg（饲粮中铜含量的实测值为 23.78 mg/kg)。

关键词：铜；獭兔；生长性能；毛皮品质；肉品质；免疫器官指数；氮代谢

中图分类号：S816　文献标识码：A　　文章编号：

微量元素铜是动物生长所必需的重要微量元素之一，对提高动物的生长性能[1-2]、毛皮质量及改善胴体品质都有非常重要的作用。在 1800 年就有学者在动植物体内发现了金属元素铜的存在，但是一直到 20 世纪初期人们才开始认识到铜是人和动物所必需的微量元素之

收稿日期：2016-05-12

基金项目：现代农业产业技术体系建设专项(CARS-44-B-1)；国家公益性行业（农业）科研专项（2000903006）；山东省农业重大应用技术创新课题（肉、獭兔高效高产技术研究、集成与推广）；中国博士后科学基金资助项目（2015M580601）

作者简介：隋啸一（1992-），女，山东威海人，硕士研究生，从事家兔营养与代谢研究。E-mail: 243253787@qq.com

*通信作者：李福昌，教授，博士生导师，E-mail: chlf@sdau.edu.cn

一，铜在机体内不仅参与六大养分的代谢，还在骨骼发育、免疫、生殖以及生物膜的稳定性等生理功能中起着极其重要的作用[3]。饲粮中的铜进入动物体内，它的吸收部位主要在十二指肠和小肠前端[4]。国内外对于铜在畜禽上对生长发育的作用还是存在广泛争议的，早在1955 年，Barber 等[5]就发现了在猪饲粮中添加 250 mg/kg 铜可以促进生长育肥猪的生长。李道林曾报道过，在饲粮中添加高剂量的铜对獭兔的生长有促进作用[6]。但是也有学者认为铜对兔的生长没有促进作用[7]。目前，国内外对铜的研究主要集中在猪、牛、禽等上，对獭兔的研究基本处于空白。本试验主要通过在饲粮中添加不同水平的铜，研究饲粮铜添加水平对生长獭兔生长性能、毛皮品质、肌肉品质及氮代谢的影响，探讨 1～3 月龄生长獭兔饲粮铜的适宜添加水平，为我国獭兔饲养标准的制订提供合理的依据。

1　材料与方法

1.1　试验饲粮

基础饲粮参考 NRC（1977）建议的家兔生长期饲养标准配制，其组成及营养水平见表 1。在基础饲粮中以五水硫酸铜(CuS04·5H20)的形式分别添加 0、5、15、45、135 mg/kg 的铜配制 5 种试验饲粮，试验饲粮中饲粮中铜含量的实测值分别为 8.19、13.59、23.78、54.08、143.68 mg/kg，并用制粒机将饲粮压制成直径为 4～6 mm 的颗粒饲料，在通风干燥避光处储存备用。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels2)	含量 Content
玉米 Corn	7.00	消化能 DE/(MJ/kg)	10.28
次粉 Wheat shorts	16.00	粗蛋白质 CP	17.43
豆粕 Soybean meal	8.00	粗纤维 CF	19.81
胚芽粕 Germ meal	15.00	粗灰分 Ash	8.35
羊草 Guinea grass	20.00	粗脂肪 EE	2.95
葵花粕 Sunflower meal	12.50	钙 Ca	0.83
稻壳粉 Husk powder	13.00	磷 P	0.35
膨化大豆 Expanded soybean	4.00		
豆油 Bean oil	0.75		

磷脂 Phospholipid	0.75
预混料 Premix[1)]	3.00
合计 Total	100.00

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg o fthe diet:VA 2 0000 IU,VD_3 2 000 IU,VE 40 mg,VK_3 6 mg,VB_1 2 mg,VB_2 12 mg,VB_3 60 mg,VB_5 20 mg,VB_7 0.1 mg,VB_9 2 mg,VB_{12} 0.04 mg,氧化胆碱 choline chloride 400 mg,Fe (as ferrous sulfate) 60 mg,Zn (as zinc sulfate) 60 mg,Mn (as manganese sulfate) 3 mg,I (as potassium iodide) 0.2 mg,Se (as sodium selenite) 0.2 mg,$CaHPO_4$ 15 000 mg,NaCl 5 000 mg,Lys 1 000 mg,Met 2 000 mg,10%杆菌肽锌 bacitracin zinc 300 mg,其余为麦饭石载体补足 others were complemented by carrier of medicinal stone。

[2)] 营养水平为实测值。Nutrient levels were measured values.

1.2 试验动物分组与饲养管理

选取体重相近[（1 061±17） g]的同期 1 月龄生长状况良好的生长獭兔 200 只，公母各占 1/2，随机分成 5 组，每组 40 个重复，每个重复 1 只。试验期间獭兔单笼饲养，每天 07：00 和 18：00 各饲喂 1 次。采用常规饲养管理和免疫程序，自然采光和通风，自由采食和饮水。饲养试验开始于 2015 年 10 月 7 号，结束于 2015 年 12 月 12 号。预试期 7 d，正试期 60 d。

1.3 样品采集与制备

在饲养试验结束前 7 d，每组随机抽取 8 只试验兔，转移到经过消毒处理的代谢笼内，单笼饲养，并饲喂相应的试验饲粮，自由采食和饮水。预试期 3 d，预试期结束后连续 4 d 收集每只试验兔全天的粪样和尿样，4 ℃密封保存，用于检测氮代谢指标。在饲养试验结束当天清晨空腹称重，每组随机抽取 8 只试验兔剥皮，用于毛皮品质分析，同时采集背腰最长肌装入自封袋中保存，用于肌肉品质的测定。

1.4 测定指标和方法

1.4.1 生长性能指标的测定

称量并记录试验开始和试验结束时的体重，并统计试验期间的喂料量，计算平均日采食量（ADFI）、平均日增重（ADG）和料重比（F/G）。

1.4.2　毛皮品质指标的测定

将剥下的獭兔皮剥离脂肪后称重，沿腹部正中线剪开展平，用软尺测量其长度和宽度（长度量取颈部至尾根处，宽度量取腹中部最窄处），并计算毛皮面积；用游标卡尺测量其毛皮厚度。

1.4.3　肌肉品质的测定

$pH_{45\ min}$：于宰后 45 min 用 Mettler MP120 型酸碱度计测量背腰最长肌第 5 肋骨处的 pH，将探头插入肌肉 3 mm 读数。

滴水损失：屠宰后 4 h，取眼肌，顺样品肌纤维方向切成 3 cm×1 cm×1 cm 长条后称重，记为 M_1；用铁丝钩住肉条一端，悬空挂于纸杯中，用保鲜膜将纸杯口密封(肉样不得与纸杯壁接触)，置于 4 ℃冰箱中 24 h，取出肉样进行称重，记为 M_2。通过下面公式计算滴水损失：

滴水损失（%）$=100\times(M_1-M_2)/M_1$。

剪切力：将采集的新鲜背腰最长肌放于 0～4 ℃冰箱经 48 h 贮存熟化后取出，将温度计插入肌肉中心部位，于恒温水浴锅内 80 ℃加热，在肌肉中心的温度达到 60 ℃时停止加热，取出肉样，将肉样顺肌肉纤维方向修剪成直径为 1.12 cm 的圆柱形肌肉块，用 C-LM 型肌肉嫩度计测定剪切力（kgf）。

肉色：用日本 Konica Minolta CR-10 型号色差仪，采用 CIE-Lab 输出模式，在背腰最长肌处切开 3 个切面分别记录 3 个切面的亮度（L*）、红度（a*）、黄度（b*）值。

1.4.4　免疫器官指数

将每只试验兔的胸腺和脾脏进行称重，用于免疫器官指数的计算，计算方法为：

器官指数=器官重（g）/宰前活重（kg）。

1.4.5　氮代谢指标

可消化氮（g/d)=食入氮-粪氮；

沉积氮（g/d)= 食入氮-粪氮-尿氮；

氮表观消化率（%）=100×可消化氮/食入氮；

氮沉积率（%）=100×沉积氮/食入氮；

氮生物利用率（%）=100×沉积氮/可消化氮。

1.5　数据处理

用 SAS 9.1.3 统计软件中的 GLM 程序进行数据的方差分析，用 Duncan 氏法进行数据多重比较检验。试验结果以平均值和均方根误差表示，*P*<0.05 为差异显著，*P*<0.01 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 饲粮铜添加水平对生长獭兔生长性能的影响

由表 2 可以看出，在初始体重无显著差异（*P*=0.901 4）的情况下，饲粮铜添加水平对料重比无显著影响（*P*＞0.05），但对平均日增重（*P*=0.042 6）、平均日采食量（*P*=0.021 4）有显著影响，且当饲粮铜添加水平为 15 mg/kg 时，平均日增重及平均日采食量均达到最高值。

表 2 饲粮铜添加水平对生长獭兔生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary copper supplemental level on growth performance of growing Rex rabbits (*n*=40)

项目	饲粮铜添加水平 Dietary copper supplemental level/(mg/kg)					均方根误差	*P* 值
Items	0	5	15	45	135	R-MSE	*P*-value
初始体重 IBW/g	1 079.12	1 039.17	1 035.36	1 067.04	1 070.25	179.040 0	0.936 4
平均日增重 ADG/(g/d)	23.205 4^{b}	23.983 1^{ab}	25.217 9^{a}	24.008 2^{ab}	22.610 2^{b}	2.490 5	0.042 6
平均日采食量 ADFI/(g/d)	123.883^{ab}	123.927^{ab}	126.477^{a}	124.332^{ab}	121.750^{b}	3.960 8	0.021 4
料重比 F/G	5.380 8	5.209 2	5.024 4	5.269 3	5.435 2	0.556 1	0.260 2

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(*P*＞0.05)，不同小写字母表示差异显著(*P*＜0.05)，不同大写字母表示差异极显著(*P*＞0.01)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (*P*＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (*P*＜0.05), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference (*P*＞0.01). The same as below.

2.2 饲粮铜添加水平对生长獭兔毛皮品质的影响

由表 3 可以看出，饲粮铜添加水平对毛皮面积、毛皮厚度均无显著影响（*P*＞0.05），对毛皮重量有显著影响（*P*=0.022 4），随着饲粮铜添加水平的升高，毛皮重量先升高后降

低，且在饲粮铜添加水平为 5 mg/kg 时达到最大值。

表 3　饲粮铜添加水平对生长獭兔毛皮品质的影响

Table 3　Effects of dietary copper supplemental level on fur quality of growing Rex rabbits

（*n*=8）

项目 Items	饲粮铜添加水平 Dietary copper supplemental level/(mg/kg)					均方根误差 R-MSE	*P* 值 *P*-value
	0	5	15	45	135		
毛皮面积 Fur area/cm^2	720.63	699.88	719.13	705.25	701.63	40.744 2	0.758 4
毛皮重量 Fur weight/g	468.33^{ab}	487.50^{a}	465.63^{ab}	436.67^{bc}	417.50^{c}	37.125 2	0.022 4
毛皮厚度 Fur thickness/mm	2.54	2.51	2.57	2.58	2.49	0.179 6	0.880 7

2.3　饲粮铜添加水平对生长獭兔肉品质的影响

由表4可以看出，饲粮铜添加水平对肌肉剪切力及亮度、红度值均无显著影响（$P>0.05$）。饲粮铜添加水平对对肌肉滴水损失有极显著影响（P=0.004 3），且当饲粮铜添加水平为15 mg/kg时滴水损失最小；对肌肉$pH45_{min}$有显著影响（P=0.019 1），且当饲粮铜添加水平为15 mg/kg时达到最大值；对肉色的黄度值有显著影响（P=0.010 0），且当饲粮铜添加水平为45 mg/kg时达到最大值。

表 4　饲粮铜添加水平对生长獭兔肉品质的影响

Table 4　Effects of dietary copper supplemental level on meat quality of growing Rex rabbits

（*n*=8）

项目 Items	饲粮铜添加水平 Dietary copper supplemental level/(mg/kg)					均方根误差 R-MSE	*P* 值 *P*-value
	0	5	15	45	135		
$pH_{45\ min}$	6.76^{c}	6.84^{bc}	6.92^{ab}	6.90^{abc}	7.01^{a}	0.151 9	0.019 1
滴水损失 Drip loss/%	6.06^{A}	5.70^{AB}	4.58^{C}	4.91^{BC}	4.23^{C}	1.008 3	0.004 3
剪切力 Shear force/kgf	2.59	2.56	2.54	2.59	2.60	0.217 9	0.983 1
亮度 L*	42.65	44.33	45.99	42.91	43.23	4.795 6	0.629 2
红度 a*	6.57	8.27	9.55	11.20	7.19	3.103 2	0.050 9
黄度 b*	8.49^{b}	9.06^{b}	9.91^{ab}	11.34^{a}	9.06^{b}	1.587 3	0.010 0

2.4　饲粮铜添加水平对生长獭兔免疫器官指数的影响

由图1可以看出，饲粮铜添加水平对脾脏指数及胸腺指数没有显著影响（*P*＞0.05）。

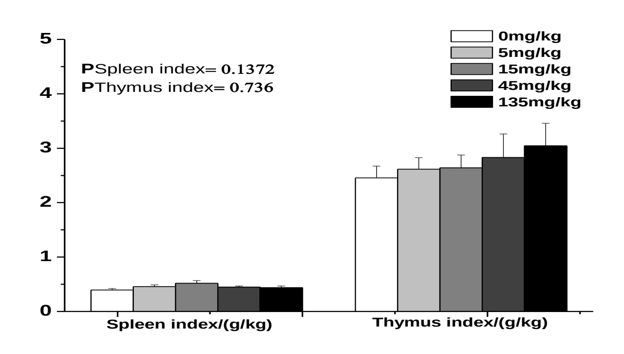


图 1　饲粮铜添加水平对生长獭兔免疫器官指数的影响

Fig.1　Effects of dietary copper supplemental level on immune organ indices of growing Rex rabbits （*n*=8）

2.5　饲粮铜添加水平对生长獭兔氮代谢的影响

由表5可以看出，饲粮铜添加水平对可消化氮没有显著影响（*P*＞0.05），对食入氮（*P*=0.000 2）、尿氮（*P*=0.001 0）、沉积氮（*P*＜0.000 1）、氮利用率（*P*＜0.000 1）及氮生物利用率（*P*＜0.000 1）有极显著影响，对粪氮（*P*=0.019 1）、氮表观消化率（*P*=0.042 3）有显著影响。

表 5　饲粮铜添加水平对生长獭兔氮代谢的影响

Table 5　Effects of dietary copper supplement level on nitrogen metabolism of growing Rex rabbits （*n*=8）

项目 Items	饲粮铜添加水平 Dietary copper supplemental level/(mg/kg)					均方根误差 R-MSE	*P* 值 *P*-value
	0	5	15	45	135		
食入氮 IN/（g/d）	4.467 6^{Cc}	4.519 9^{Cc}	4.624 5^{Aa}	4.607 1^{ABab}	4.537 3^{BCbc}	0.075 6	0.001 0
粪氮 FN（/g/d）	1.247 3^{b}	1.182 9^{b}	1.328 4^{ab}	1.542 9^{a}	1.253 4^{b}	0.214 3	0.019 1
尿氮 UN/（g/d）	1.458 2^{Aa}	1.255 5^{Aa}	0.880 9^{Bb}	1.018 0^{Bb}	1.385 0^{Aa}	0.222 4	＜0.000 1
可消化氮 DN/（g/d）	3.220 3	3.337 0	3.296 1	3.064 2	3.283 9	0.220 6	0.135 6
沉积氮 RN/（g/d）	1.762 1^{Cc}	2.081 5^{Bb}	2.415 1^{Aa}	2.046 2^{Bb}	1.898 9^{BCbc}	0.204 5	＜0.000 1

氮表观消化率 apparent digestibility/%	N	72.094 4^{a}	73.833 9^{a}	71.266 3^{ab}	66.522 5^{b}	72.349 6^{a}	4.726 6	0.042 3
氮利用率 availability/%	N	39.445 0^{Cc}	46.075 7^{Bb}	52.214 4^{Aa}	44.438 7^{Bb}	41.820 7^{BCbc}	4.457 0	<0.000 1
氮生物利用率 bioavailability/%	N	54.767 9^{Dd}	62.497 7^{BCbc}	73.215 6^{Aa}	66.904 1^{Bb}	58.006 1^{CDcd}	5.638 3	<0.000 1

3 讨 论

3.1 饲粮铜添加水平对生长獭兔生长性能的影响

微量元素铜是动物生长所必需的微量元素之一，在饲粮中添加铜一般有 2 个目的：第一是保持动物机体正常生理功能的铜需要量；第二是利用高剂量的铜提高动物的生产性能。李宏等[8]研究表明，在基础饲粮中铜含量为 10.56 mg/kg 的基础上，添加 100～200 mg/kg 铜能够显著提高安哥拉兔的日增重。马德磊等[9]研究表明，在基础饲粮中铜含量为 9.9 mg/kg 的基础上，分别添加 0、20、40、80、160 mg/kg 的铜时，饲粮中铜含量对断奶至 2 月龄生长肉兔的日增重有极显著的影响，随着铜含量的提高，生长肉兔的日增重随之增加。张微[10]的研究结果表明，在基础饲粮中添加 10 mg/kg 铜的组绒山羊的日增重和饲料转化效率显著高于未添加铜的组和添加 30 mg/kg 铜的组。同时，韩爱云等[11]也指出，在饲粮中添加 75～150 mg/kg 的铜可以明显促进兔的生长。在本试验条件下，饲粮铜添加水平对生长獭兔的平均日增重和平均日采食量有显著的影响，并且在添加水平为 15 mg/kg 时达到最大值，这表明饲粮中添加适宜水平的铜有助于獭兔的生长发育，这与上述前人的研究结果相一致。

3.2 饲粮铜添加水平对生长獭兔毛皮品质的影响

獭兔是典型的皮用型兔，其毛皮具有绒毛细密、色泽光亮、保暖性好等特点，具有很高的经济价值。影响动物毛皮质量的因素有很多，如动物的品种、性别、年龄及饲粮营养状况等，其中动物的毛皮质量受饲粮营养状况的影响很大，长期的营养缺乏会导致獭兔生长缓慢、发育不良，出现皮张面积不合格等不利现象。毛皮质量可以从毛皮重量、毛皮面积、毛皮厚度等指标进行综合评定。吴金山[12]曾经提出了可以从兔皮的色泽、面积以及绒毛的长度等方面来评定獭兔毛皮品质。连继勤等[13]研究表明，饲粮中添加铜有助于獭兔兔毛的生长。本试验结果表明，饲粮铜添加水平对生长獭兔毛皮重量有显著影响，且在铜添加水平为 5

mg/kg 时达到最大值；高铜明显降低了生长獭兔的毛皮重量，这可能是一定量铜会促进獭兔体内黑色素细胞的代谢，从而影响了毛皮的发育，但其具体的分子机理还有待于进一步研究。

3.3 饲粮铜添加水平对生长獭兔肉品质的影响

兔肉不仅具有高蛋白质、高赖氨酸、高消化率、低脂肪、低胆固醇、低热量的特点，同时还含有丰富的 B 族维生素及铁、磷、锌等微量元素。李福昌[14]研究表明，兔肉对老年人、幼儿、孕妇、冠心病患者等人群都有滋补作用，是人类重要的保健食品。赵明夫[15]提出评价肉品质的各类指标包括肉色及肌肉 pH、滴水损失、剪切力等。Strydom[16]曾经提出,对于肉品质营养价值的评定标准除了肉品安全因素外，还包括肉色、嫩度等。本试验结果表明，饲粮铜添加水平对獭兔肌肉的滴水损失有极显著的影响，饲粮中添加适宜的（15 mg/kg）铜会显著降低肌肉的滴水损失，表明此时肌肉保持水分的能力较强；另外，饲粮铜添加水平对肌肉 $pH_{45\ min}$、黄度值也有显著影响，这样的试验结果表明饲粮中添加铜对改善獭兔肉品质具有重要的意义。

3.4 饲粮铜添加水平对生长獭兔免疫器官指数的影响

赵德明等[17]对肉鸡进行试验，发现用低铜饲粮饲喂的肉鸡经过 7 周以后体内主要淋巴组织器官中的淋巴数量会减少，免疫器官受到了严重的影响。对于此类的研究，吴建设等[18]也曾经提出缺铜饲粮会限制肉仔鸡的生长，使免疫器官生长受损。本试验结果表明，饲粮铜添加水平对生长獭兔脾脏指数及胸腺指数没有显著影响，这可能是由于饲粮铜影响獭兔免疫器官的发育是在低铜的情况下进行的，而本试验中饲粮铜的含量并没有达到使试验兔缺铜的地步，因而对獭兔脾脏指数及胸腺指数没有显著影响。

3.5 饲粮铜添加水平对生长獭兔氮代谢的影响

家兔在 24 h 内食入的含氮营养物质经体内消化代谢，一部分合成体蛋白质沉积体内或被机体所利用，另一部分形成代谢废弃产物随粪、尿排出，构成了家兔的氮平衡。粪氮和尿氮是食入氮的 2 个损失部分，其中粪氮受饲料蛋白质水平的影响较大，尿氮受饲料氨基酸平衡的影响较大[19]。家兔是单胃动物，氮在体内沉积的过程也就是家兔从饲粮中吸收的氨基酸在机体内产生蛋白质的过程。本试验结果表明，在饲粮中添加 15 mg/kg 铜可以促进氮的沉积，提高氮的利用率，这也说明饲粮中添加适宜水平的铜对生长獭兔的蛋白质沉积具有促进作用。

4 结 论

综合本试验测定指标，生长獭兔饲粮适宜的铜添加水平为 15 mg/kg（铜的实测含量为 23.78 mg/kg）。

参考文献：

[1] 江青东,王艳玲.奶牛乳腺炎研究进展[J].中兽医医药杂志,2007,26(4):68–69.

[2] 朱文娟,邓干臻.奶牛乳腺炎防治方法的研究进展[J].中国兽药杂志,2008,42(3):40–45.

[3] 钱剑,王哲,刘国文.铜在动物体内代谢的研究进展[J].动物医学进展,2003,24(2):55–57.

[4] 刘璐.饮食铜的供给、状态及吸收[J].国外医学医学地理分册,1997,18(1):15–18,20.

[5] BARBER R S,BRAUDE R,MITCHELL K G,et al.High copper mineral mixture for fattening pigs[J].Chemistry and Industry,1955,21:601–603.

[6] 李道林.铜源和铜水平对生长獭兔的生长性能、毛皮品质及理化指标的影响[D].硕士学位论文.长春:中国人民解放军军需大学,2002:7–29.

[7] 李宏,郑中朝,郭天芬,等.日粮铜水平对兔组织器官中铜沉积量及铜代谢的影响[J].中国草食动物,2000,2(4):11–13.

[8] 李宏,程胜利,甘伯中,等.日粮铜水平对安哥拉兔生产性能的影响[J].中国草食动物,2003,2(3):16–17.

[9] 马德磊,李福昌.日粮铜水平对断奶至 2 月龄生长肉兔生产性能及血清指标的影响[J].动物营养学报,2009,21(4):493–498.

[10] 张微.绒山羊微量元素铜需要量的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2004:73.

[11] 韩爱云,谷子林,黄仁录.家兔微量元素——铜的研究进展[J].中国养兔杂志,2005(4):28–30.

[12] 吴金山.如何评定獭兔皮质量[J].中国养兔杂志,2005(1):44–45.

[13] 连继勤,陈成功,王玉平,等.铜水平对幼兔早期生长及毛皮的影响[J].中国养兔杂志,1997(5):13–16.

[14] 李福昌.兔生产学[M].中国农业出版社,2009.

[15] 赵明夫.肉质评价的指标[J].农牧产品工程,2012(5):279.

[16] STRYDOM P E.Do indigenous Southern African cattle breeds have the right genetics for

commercial production of quality meat[J].Meat Science,2008,80(1):86–63.

[17] 赵德明,方文军,张日俊,等.铜缺乏对肉鸡淋巴组织器官发育的影响[J].中国兽医科技,1996,26(6):13–14.

[18] 吴建设,呙于明,杨汉春,等.日粮铜水平对肉仔鸡生长性能和免疫功能影响的研究[J].畜牧兽医学报,1999,30(5):414–420.

[19] AHMED B M,ABOU-ASHOUR A M.Protein quality and amino acid requirement of Baladi rabbits[J].World Review of Animal Production,1984,55:58–60.

Effects of Dietary Copper Supplemental Level on Growth Performance, Fur Quality, Meat Quality and Nitrogen Metabolism of Growing Rex Rabbits

SUI Xiaoyi LIU Lei GAO Qin LI Fuchang*

(*College of Animal Science and Technology, Shandong Agricultural University, Tai'an* 271018, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary copper supplemental level on growth performance, fur quality, meat quality and nitrogen metabolism of growing rex rabbits. Two hundred 1-month-old Rex rabbits with the similar health conditions were randomly assigned to 5 groups with 40 replicates per group and 1 rabbit per replicate. Rabbits in 5 groups were fed experimental diets with the following copper supplemental levels: 0, 5, 15, 45 and 135 mg/kg, and copper content measured values in experimental diets were 8.19, 13.59, 23.7, 54.08 and 143.68 mg/kg, respectively. The trial lasted for 7 days for adaptation and 60 days for test. The results showed as follows: dietary copper supplemental level had extremely significant influences on average daily gain and average daily feed intake ($P<0.01$), and had no significant influence on feed/gain ($P>0.05$). The highest values of average daily gain and average daily feed intake appeared when dietary copper supplemental level was 15 mg/kg. Dietary copper supplemental level had significant influence on fur weight （$P<0.05$）, but had no significant influences on fur area and fur thickness ($P>0.05$). The fur weight in 5 mg/kg group was significantly higher than

that in 45 and 135 mg/kg groups （P＜0.05）, but no significant difference was found between 5 and 15 mg/kg groups (P>0.05). Dietary copper supplemental level had extremely significant influence on drip loss (P＜0.01), and had significant influences on muscle $pH_{45\ min}$ and b* value （P＜0.05）, but had no significant influences on muscle shear force and the values of L* and a* (P>0.05). The minimum of drip loss and the maximum of $pH_{45\ min}$ appeared when dietary copper supplemental level was 15 mg/kg. Dietary copper supplemental level had extremely significant influences on nitrogen intake, urinary nitrogen, digestible nitrogen, nitrogen retention, nitrogen apparent digestibility and nitrogen bioavailability (P＜0.01), and had significant influences on fecal nitrogen and nitrogen availability（P＜0.05）. Considering all indices of this experiment, the appropriate dietary copper supplemental level is 15 mg/kg for growing Rex rabbits (dietary copper content measured value is 23.78 mg/kg).

Key words: copper; Rex rabbits; growth performance; fur quality; meat quality; immune organ indices; nitrogen metabolism

*Corresponding author, professor, E-mail: chlf@sdau.edu.cn （责任编辑　菅景颖）